

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2026.07.015

孙雪妍, 何丙辉, 李天阳, 等. 紫色土坡耕地土壤温湿度对秸秆覆盖的响应 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2026, 48(7): 194-202.

紫色土坡耕地土壤温湿度对秸秆覆盖的响应

孙雪妍, 何丙辉, 李天阳, 刘瑾瑜, 冉婷

西南大学 资源环境学院/水土保持生态修复重庆市重点实验室, 重庆 400715

摘要: 为揭示秸秆覆盖量对紫色土坡耕地土壤温度和湿度的影响, 在 15° 紫色土坡耕地上建立径流小区 ($2\text{ m} \times 0.5\text{ m}$), 设置 5 种秸秆覆盖量 ($0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8\text{ kg/m}^2$), 分析了次降雨事件各小区土壤的温度和湿度变化。结果表明: ① 土壤温度变化因降雨类型而异, 小雨时逐渐上升 ($25.0 \sim 27.0^{\circ}\text{C}$), 中雨时逐渐下降 ($25.8 \sim 24.1^{\circ}\text{C}$), 大雨和大暴雨时迅速降低, 大暴雨时变化最大 ($26.7 \sim 24.4^{\circ}\text{C}$)。土壤湿度随降雨历时增加而上升, 小雨和中雨变化较小, 大雨和大暴雨显著增加, 其中大暴雨变化最大 ($28.0\% \sim 50.1\%$)。② 不同降雨类型下, 大暴雨条件下的温度和湿度均值最高, 其温度均值比小雨、中雨和大雨分别高 8.7% 、 4.4% 和 6.4% , 初始湿度比其他降雨类型高 $43.0\% \sim 75.0\%$ 。③ 同一秸秆覆盖量下, 在大雨条件下 0.6 kg/m^2 秸秆覆盖量的土壤湿度最高 (47.4%), 比同一秸秆覆盖量下小雨、中雨和大暴雨分别高出 125.0% 、 68.5% 和 27.9% 。在 $0.4 \sim 0.6\text{ kg/m}^2$ 秸秆覆盖量下, 土壤温度和湿度变化较小。

关键词: 秸秆覆盖; 紫色土; 降雨量; 土壤温度; 土壤湿度

中图分类号: P426.68; S152

文献标识码: A

文章编号: 1673-9868(2026)07-0194-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Responses of soil temperature and moisture in purple soil sloping farmland to straw mulching

Sun Xueyan, He Binghui, Li Tianyang, Liu Jinyu, Ran Ting

College of Resources and Environment, Southwest University/Chongqing Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Ecological Restoration, 400715 Chongqing, China

Abstract: To investigate the effects of straw mulching on soil temperature and moisture in purple soil

收稿日期: 2025-03-26

基金项目: 重庆市水利局、重庆市科学技术局水利科技项目(CQSLK-2023023); 重庆市自然科学基金面上项目(CSTB2022NSCQ-MSX0385); 重庆市技术创新与应用发展专项面上项目(CSTB2023TIAD-GPX0045); 西南大学研究生科研创新项目(SWUS24118)。

作者简介: 孙雪妍, 硕士, 主要从事水土保持研究。

通信作者: 何丙辉, 博士研究生导师。

sloping farmland, runoff plots ($2\text{ m} \times 0.5\text{ m}$) were established on 15° purple soil slopes, with five mulch application rates (0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 kg/m^2). The changes in soil temperature and moisture in each plot during individual rainfall events were analyzed. The results showed that: ① Soil temperature varied with rainfall intensity. It gradually increased from 25.0°C to 27.0°C under light rain, decreased gradually from 25.8°C to 24.1°C under moderate rain, and dropped rapidly under heavy rain and rainstorms, with the most significant change observed under rainstorms (from 26.7°C to 24.4°C). Soil moisture increased with rainfall duration. The changes were small under light and moderate rain, whereas moisture increased significantly under heavy rain and rainstorms. The largest increase occurred under rainstorms, ranging from 28.0% to 50.1%. ② Among different rainfall intensities, the mean soil temperature and moisture under rainstorms were the highest. The mean soil temperature under rainstorms was 8.7%, 4.4% and 6.4% higher than that under light rain, moderate rain and heavy rain, respectively. Meanwhile, initial soil moisture was 43.0%–75.0% higher than that under other rainfall intensities. ③ Under the same straw mulching application rate (0.6 kg/m^2), soil moisture under heavy rain was the highest (47.4%), which was 125.0%, 68.5% and 27.9% higher than that under light rain, moderate rain and rainstorms, respectively. Within the 0.4–0.6 kg/m^2 mulching range, soil temperature and moisture remained relatively stable.

Key words: straw mulching; purple soil; rainfall; soil temperature; soil moisture

土壤温度、湿度是决定农作物生长的重要因素,通过调节植物根系的代谢活动以及影响水分利用效率和养分循环过程间接影响农作物生长^[1-3]。利用农作物剩余物作为覆盖材料,是利用水土资源最简单直接且经济有效的办法之一,对于提高我国耕地综合生产能力具有重要意义。遮阳保墒的物理措施,如铺秸秆、覆膜等,主要作用是减少水分蒸发,调节土壤温度和改良土壤结构^[2-3]。对于小麦—玉米轮作田而言,利用作物秸秆覆盖不仅能提高水分利用率,还能抑制土壤水分蒸发,改善土壤含水状况,并缓解水土流失问题;降雨强度对土壤水分下渗深度与水分含量变化产生一定影响^[4]。小雨时土壤湿度变化不大。暴雨时水分渗透快,土壤湿度急剧上升。秸秆覆盖能够减缓雨水造成的突变,从而减轻水分流失,稳定土壤湿度。强降雨易造成大量水分渗入土壤,使土壤含水量大幅提高,而在小雨和中雨时,水分下渗速度较慢,土壤水分变化幅度较小。因此在不同降雨强度下,秸秆覆盖的效果存在差异,在强降雨条件下调节效果更为明显。同时,由于秸秆覆盖具有良好的调温效果,可以通过调整秸秆厚度来控制昼夜温差,从而缓解气温异常变化带来的不良影响^[3, 5]。但是已有研究表明,过高或过低的覆盖量均可能影响保水效果,甚至产生一定的负效应^[6]。因此,明确不同降水条件下的适宜秸秆覆盖量以调节土壤温度和湿度具有重要的应用价值,适宜的秸秆覆盖量可有效提高水分利用率,改善土壤热状况,为作物提供稳定的生长环境^[7]。进一步分析雨强与秸秆覆盖量之间的响应关系,有助于为农田覆盖量精准调控提供依据,也有助于通过定量分析应对气候变化引起的降水变率波动,提高农业生产的稳定性和可持续性。但目前相关研究多集中于较短时间尺度,且多为定性分析结果^[8-13],针对不同降雨条件下不同秸秆覆盖量对土壤温度和水分变化影响的定量研究仍相对不足。

紫色土坡耕地是我国西南地区较为典型的一类农业土壤,紫色土细粒较多,砾石含量高,结构较松散,保水性较差,遇大雨易发生水土流失,且在降雨集中时期,土壤水分时空分布不均,易造成表层养分流失,降低土壤肥力,破坏农田生态系统功能。本研究以紫色土坡耕地为研究对象,设计了 5 个不同秸秆覆盖量处理 (0、0.2、0.4、0.6、0.8 kg/m^2),在模拟小雨、中雨、大雨和大暴雨等 4 种降雨类型试验的基础上,获

取不同降雨条件下的土壤温湿度动态监测数据, 并据此分析秸秆覆盖量对土壤温湿度的影响。进一步探讨紫色土坡耕地在不同降雨条件下秸秆覆盖的水热调蓄效应及其影响因素, 以阐明秸秆覆盖对土壤水热调控的作用机制, 为精准农业中秸秆覆盖应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

以重庆市西南大学水土保持试验基地紫色土坡耕地(29°48′42″N, 106°24′20″E)为试验区, 年降水量约 1 100 mm, 降水量主要集中在 5—9 月, 并多为暴雨。该区域土壤类型为紫色土, 成土母质为中生代侏罗纪沙溪庙组紫色砂泥岩。为研究不同降雨条件下秸秆覆盖对土壤温湿度的影响, 在典型坡面建立径流小区, 设置不同秸秆覆盖量处理, 并开展野外监测。

1.2 试验小区

本研究采用水泥砖砌筑的径流小区(长 2 m、宽 0.5 m)进行土壤温湿度监测。试验区选择一块坡度为 15°的连续坡耕地, 设定 5 个不同秸秆覆盖量(0、0.2、0.4、0.6、0.8 kg/m²)。本研究中使用风干玉米秸秆, 切割成 20 cm 左右的小段并晾干, 按照预定的秸秆覆盖量均匀覆盖于各小区。

将微型气象站(YT-TS200)布置于试验区域中, 实时采集降雨量、降雨时长、土壤温湿度等参数(图 1)。在每个小区内设置 1 个土壤温湿度传感器(共 10 个小区), 每个传感器具有相同的采样设置, 分别采集 10 cm 处土壤温湿度数据并传送至数据云端。其中, 土壤温度监测范围为−40~80 ℃, 精度为±0.5 ℃, 分辨率为 0.01 ℃; 土壤湿度监测范围为 0~100%, 精度为 3%, 分辨率为 0.01%。



图 1 试验小区与微型气象设施

1.3 次降雨事件监测

自 2022 年 4 月至 2023 年 11 月, 共监测到降雨产流事件 10 场。本研究选择了降雨历时相近、但降雨量分别属于小雨、中雨、大雨和大暴雨的 4 场降雨事件进行分析。降雨量按国家标准《降水量等级》(GB/T 28592—2012)进行分类。4 场降雨事件的具体降雨特性如表 1 所示。

表 1 各降雨事件特性

降雨时间	降雨量/mm	降雨量分级	降雨历时/h	降雨强度/(mm·h ^{−1})
2022 年 9 月 1 日	1.4	小雨	7.5	0.19
2022 年 9 月 3 日	7.8	中雨	8	0.98
2023 年 6 月 29 日	11	大雨	8	1.38
2023 年 7 月 28 日	90	大暴雨	8.5	11.25

1.4 数据处理

数据采集后,使用 Microsoft Excel 2016 对数据进行整理,采用 SPSS 26.0 软件进行方差分析与相关性分析。利用回归分析(Origin 2022)建立秸秆覆盖量与土壤温湿度之间的数学模型。方差分析采用单因素方差分析,并结合最小显著差异法(LSD)分析不同降雨类型与秸秆覆盖量对土壤温湿度的影响差异,显著性水平设定为 $p<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 土壤温度

不同降雨条件下,土壤温度随时间的变化情况如图 2 所示。在不同秸秆覆盖量处理下,同一降雨类型的土壤温度变化趋势存在差异。小雨和中雨条件下,0.6 kg/m² 秸秆覆盖量时土壤温度初值最高,分别为 26.7 ℃和 25.8 ℃;大雨条件下,0 kg/m² 秸秆覆盖量时土壤温度初值最高,为 28.6 ℃;大暴雨条件下,0.4 kg/m² 秸秆覆盖量时土壤温度初值最高,为 26.7 ℃。

在不同降雨类型下,同一秸秆覆盖量的土壤温度初始值差异有统计学意义($p<0.05$):小雨、中雨和大雨条件下,以 0.6 kg/m² 覆盖量的温度均值最高,而大暴雨条件下则以 0 kg/m² 最高。大雨条件下的初始土壤温度分别较小雨、中雨和大暴雨高出 4.3%~14.6%、8.1%~17.3%和 4.0%~8.8%。不同降雨类型下,土壤温度变化趋势亦不同:小雨时逐步上升,中雨时缓慢下降,大雨和大暴雨时迅速降低(图 2)。温度波动幅度以大暴雨最大(24.4~26.7 ℃),中雨最小(24.1~25.8 ℃),小雨和大雨相对较大(25.0~27.0 ℃和 26.6~28.6 ℃)。

在相同降雨类型下,不同秸秆覆盖量的温度均值存在差异。对于 0 kg/m² 和 0.2 kg/m² 秸秆覆盖量,土壤温度在各降雨类型之间差异无统计学意义($p>0.05$)。然而,在 0.4、0.6、0.8 kg/m² 秸秆覆盖量下,大暴雨条件下的土壤温度显著高于其他降雨类型(差异具有统计学意义, $p<0.05$),且大暴雨条件下的温度均值分别比小雨、中雨和大雨高 4.4%、8.7%和 6.4%(表 2)。

表 2 不同降雨类型秸秆覆盖量下土壤温度变化 ℃

降雨类型	秸秆覆盖量/(kg·m ⁻²)				
	0	0.2	0.4	0.6	0.8
小雨	25.3±1.6Aa	25.8±1.1Aa	26.3±0.5ABa	26.7±0.4ABa	26.1±0.9Ba
中雨	24.2±1.4Aa	24.9±1.1Aa	25.2±0.3Ba	25.4±0.3Ba	25.1±0.1Ba
大雨	25.6±0.6Aa	25.2±0.5Aa	25.8±0.4ABa	26.0±0.2ABa	25.6±0.3Ba
大暴雨	27.6±0.2Aa	26.8±0.4Aa	27.4±0.0Aa	27.2±0.1Aa	27.3±0.2Aa

注:小写字母不同表示同一降雨类型下不同秸秆覆盖量间差异有统计学意义,大写字母不同表示同一秸秆覆盖量不同降雨类型间差异有统计学意义,数据为均值±标准差,下同。

2.2 土壤湿度

在不同降雨类型下,秸秆覆盖量对土壤湿度的影响差异具有统计学意义($p<0.05$)(图 3)。大暴雨时土壤湿度初值为 28.0%,且土层土壤湿度随降雨量增加而升高,最大增幅达 50.1%,其中大暴雨降雨类型的湿度变化幅度最大(28.0%~50.1%)。小雨和中雨降雨类型的湿度变化幅度分别为 13.7%~22.8%、18.1%~25.3%。大雨降雨类型的湿度变化幅度为 20.6%~26.5%。各种降雨类型下的土壤平均湿度值以大暴雨最大,其次为大雨、中雨和小雨。

相比其他类型降雨,在相同秸秆覆盖量下,大暴雨条件下的初始土壤湿度最高。不同秸秆覆盖量下的土壤湿度比较结果表明:0.8 kg/m² 秸秆覆盖量下土壤湿度最大(分别为小雨 21.6%、中雨 28.1%和大暴雨 45.6%);0.6 kg/m² 秸秆覆盖量下土壤湿度最大,达 31.9%(大暴雨);0.4 kg/m² 秸秆覆盖量下土壤湿度最大,达 29.7%(大雨)。综上可知,在强降雨条件下,秸秆覆盖可显著提高土壤湿度。

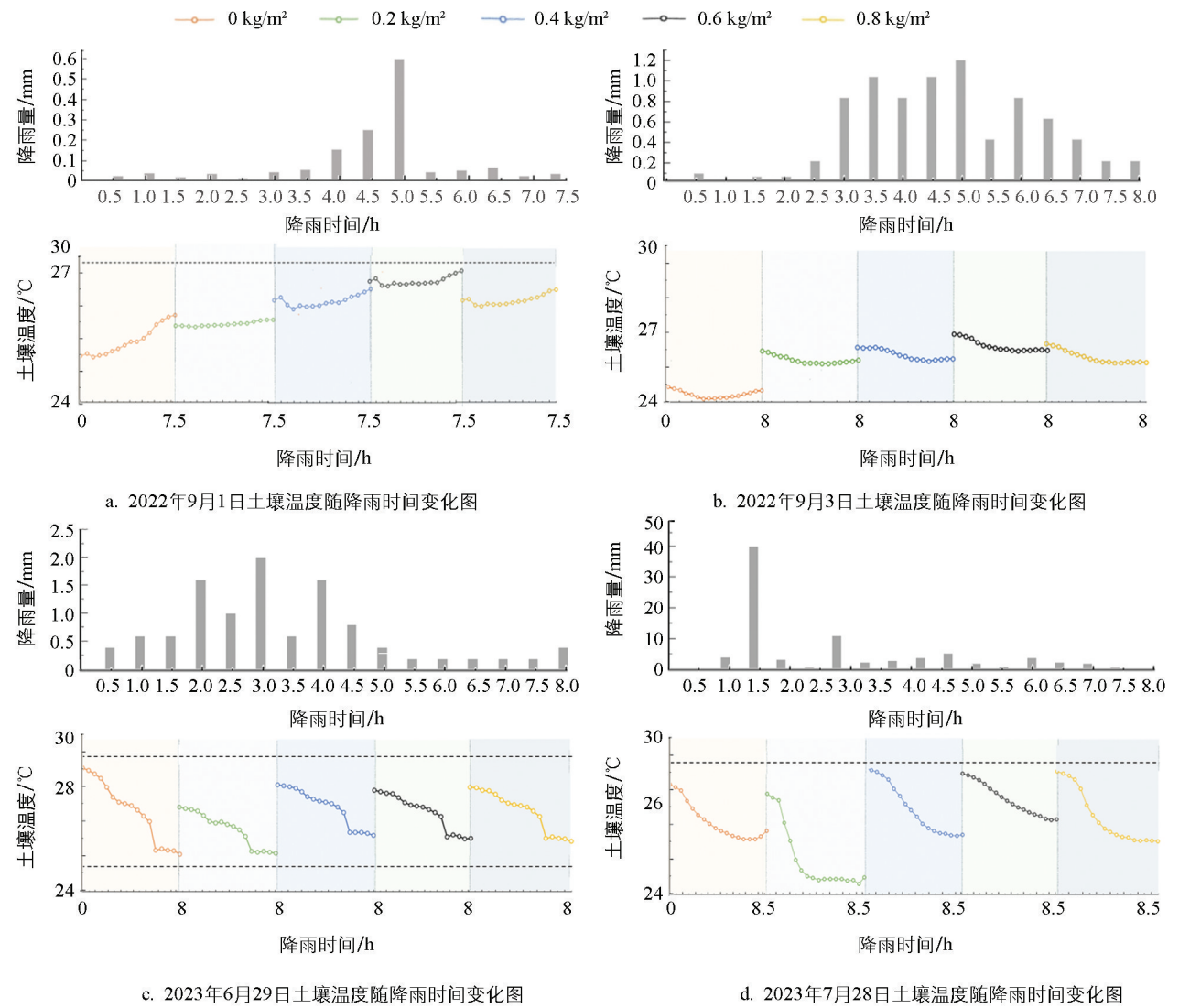


图 2 4 种降雨类型下不同秸秆覆盖量土壤温度变化

在小雨、中雨和大暴雨条件下,相同秸秆覆盖量时,大暴雨的初始土壤湿度分别比小雨、中雨和大雨高 78.5%~132.8%、51.1%~97.0%和 33.7%~59.1%。在各秸秆覆盖量处理中,0.8 kg/m² 处理的土壤湿度始终最高,且土壤湿度随降雨历时延长呈逐步上升趋势,尤其在大暴雨条件下,湿度增加最为显著,而小雨和大雨条件下湿度变化幅度相对较小。

各降雨类型下不同秸秆覆盖量对土壤湿度的影响如表 3 所示。可以看出,在 0、0.6、0.8 kg/m² 秸秆覆盖量下,土壤湿度在大雨时均最高,分别为 44.4%、40.5%、47.4%。在 0 kg/m² 条件下,大雨时土壤湿度分别比小雨、中雨和大暴雨时高出 120.4%、69.0%、40.5%;在 0.6 kg/m² 条件下,分别高出 125.0%、68.5%、27.9%;在 0.8 kg/m² 条件下,分别高出 119.7%、70.0%、39.7%。

表 3 不同秸秆覆盖量下土壤湿度变化 %

降雨类型	秸秆覆盖量/(kg·m ⁻²)				
	0	0.2	0.4	0.6	0.8
小雨	20.1±2.3Ac	14.6±0.5Ac	15.3±0.8Ac	18.0±5.9Ac	21.6±3.7Ac
中雨	26.3±1.0Abc	21.3±1.7Abc	21.5±3.9Abc	24.1±4.4Abc	27.9±1.3Abc
大雨	44.4±8.2Aa	40.5±11.6Aa	33.6±12.4Aa	47.4±4.0Aa	45.9±0.5Aa
大暴雨	31.6±1.6Ab	26.0±5.7Ab	23.3±9.2Ab	31.7±3.7Ab	34.0±0.3Ab

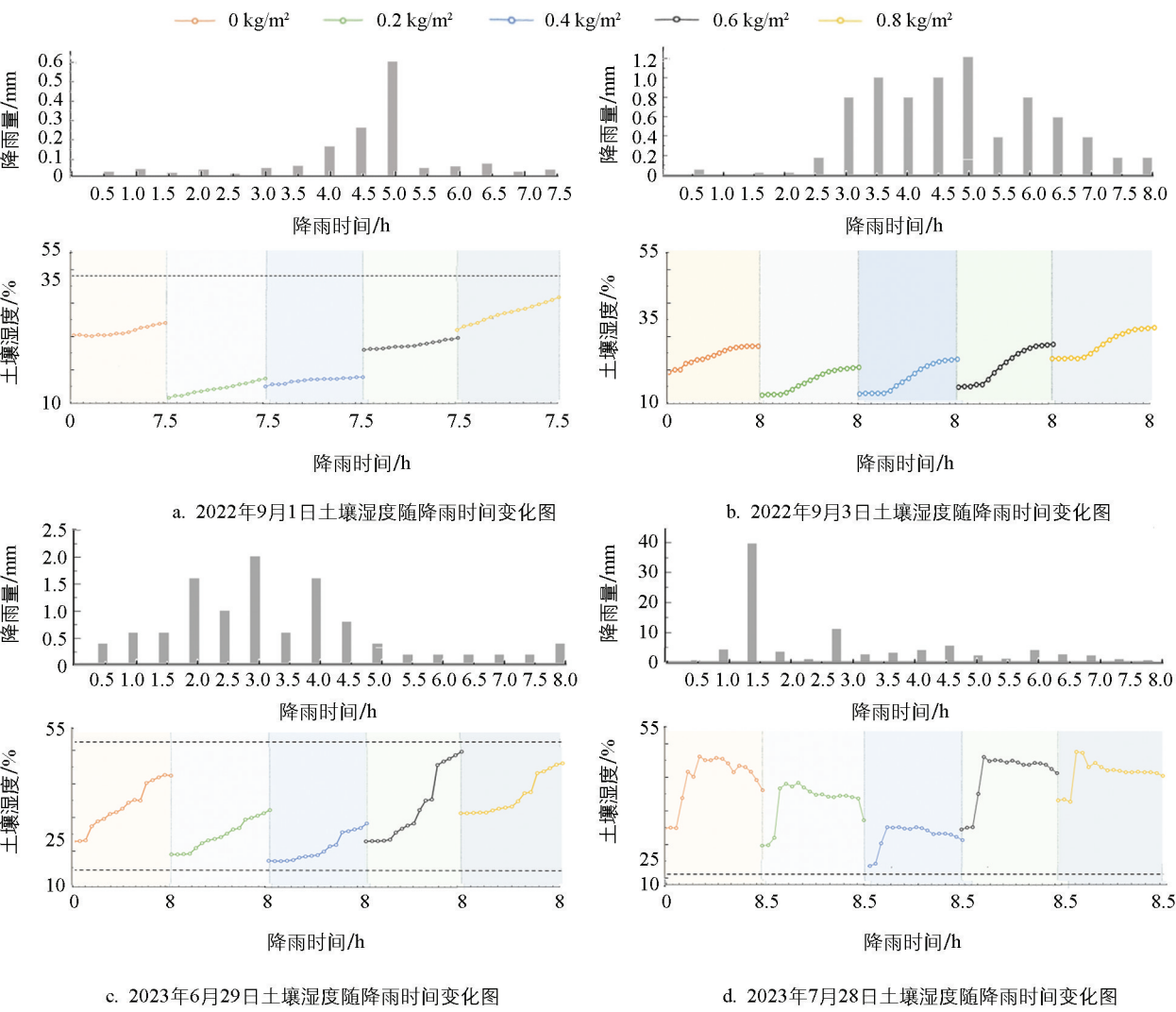


图 3 4 种降雨类型下不同秸秆覆盖量下土壤湿度变化

2.3 秸秆覆盖量与土壤温度、湿度的关系

根据回归分析, 秸秆覆盖量与土壤温度和湿度之间存在二次函数关系(图 4)。当秸秆覆盖量为 0.6 kg/m² 时, 土壤温度达到最高值 25.9 ℃; 当秸秆覆盖量为 0.35 kg/m² 时, 土壤湿度最低, 约为 25.04%。

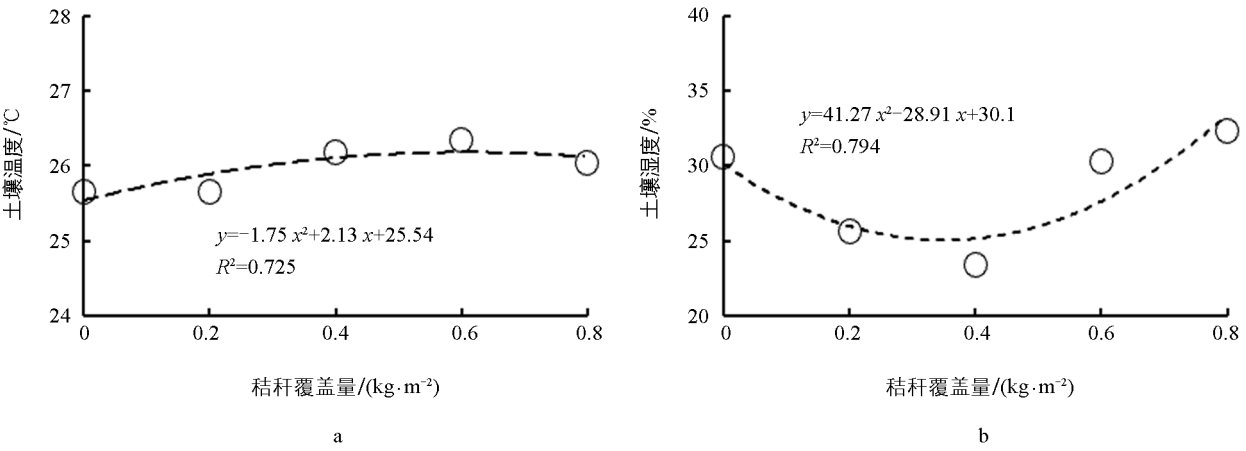


图 4 秸秆覆盖量与土壤温度和湿度间的数学关系

3 讨论与结论

3.1 讨论

秸秆覆盖作为重要的农田管理措施, 通过减少蒸发、增强土壤保水能力、降低地表太阳辐射强度和减缓土壤温差变化等方式调节土壤温湿度^[14-15]。研究表明, 在干旱季节或强蒸发区, 其保水效果尤为明显^[16-18]。 $0.4\sim 0.6\text{ kg/m}^2$ 的覆盖量在不同类型的土壤中均能提高土壤湿度、减少温差, 从而稳定其微环境, 且该覆层仍方便农事活动, 这与 Wu 等^[19]、赵思明等^[20]的研究结果一致, 证明在不同气候条件下, 适量秸秆覆盖可以增加土壤含水量并具有温度缓冲作用。降雨是影响土壤温湿度的重要因素之一^[21], 降水强度和形式都会对秸秆覆盖的效果产生显著影响^[22]。

从强降雨过程来看, 秸秆覆盖有利于水分向土壤深层下渗转移, 可以减小水力梯度, 防止水分迅速流失, 同时能够提高土壤蓄水保墒性能^[23]。秸秆覆盖还可以增加土壤热容量, 减小土壤温差, 降低土壤日变幅, 改善降雨对土壤温度的影响^[24-25]。在小雨及中雨条件下, 秸秆覆盖有利于提高土壤保水性能, 主要原因在于其减少了土壤水分蒸发并提高了水分渗透率。尤其在 0.6 kg/m^2 覆盖量下, 降雨后的土壤含水量较对照分别增加 5.91% 和 38.74% , 接近覆土层土壤的理想状态^[26], 但过厚的秸秆覆盖层在强降雨过程中容易造成地表积水, 进而影响土壤通透性及植物根系呼吸, 对植物生长产生不利影响^[27]。长期观测表明, 秸秆覆盖可减少旱地土壤水分散失^[28], 在多雨时期又有助于避免土壤湿度过大带来的问题^[29], 表明其在不同气候区域均具有较强的适应性。

研究表明, $0.4\sim 0.6\text{ kg/m}^2$ 的秸秆覆盖量效果最佳^[16, 30], 其能够在保水和透气之间达到较优平衡^[31]。此外, 还可以增加土壤含水量、调节土温、防止温度剧烈变化, 改善作物生长的微气候环境^[19, 30]。若覆盖量不足, 则调温能力较弱、水分蒸发较快, 不利于发挥秸秆覆盖作用; 而覆盖量过高, 则会降低土壤透气性, 影响根系生长, 并增加病原菌发生风险^[32-33], 该现象在湿润地区更为明显^[34]。紫色土热容量更大, 秸秆覆盖对其水热状况的调控效果更显著, 由此可见, 土壤类型是决定秸秆覆盖调控成效的关键影响因子。此外, 由于土壤与气候之间存在耦合关系, 在干旱、寒冷等地区, 秸秆覆盖的长期效应可能减弱^[12, 35]。已有研究表明, 土壤温度与湿度变化呈二次函数关系, 当秸秆覆盖量处于 $0.4\sim 0.6\text{ kg/m}^2$ 范围内时, 既能调节土壤温湿度, 又有利于水分均匀分布; 当覆盖量小于 0.4 kg/m^2 时, 降温效果较弱且水分蒸发加快; 当覆盖量大于 0.6 kg/m^2 时, 土壤透气性下降, 不利于根系生长发育。因此, 本试验中适宜覆盖范围为 $0.4\sim 0.6\text{ kg/m}^2$, 在不同降雨条件下可使土壤温湿度维持在相对稳定水平。

本研究结果表明, 秸秆覆盖作为一种有效的农业管理措施, 能够增加土壤水分含量、调节土壤温度并防止水土流失, 在应对极端天气时具有重要生态效益和应用价值。针对不同类型土壤及气候条件, 仍需进一步开展深入研究, 同时, 应关注秸秆覆盖与其他土壤管理措施之间的协同效应, 并在此基础上评估其对区域农业生态系统的精细化调控潜力。

3.2 结论

秸秆覆盖可稳定土壤温度, 尤其在 $0.4\sim 0.6\text{ kg/m}^2$ 覆盖量下, 大暴雨时的土壤温度变化幅度减小且差异具有统计学意义 ($p<0.05$); 秸秆覆盖可提高土壤湿度, 0.8 kg/m^2 覆盖量时湿度较高, 并减少强降雨下的蒸发损失。土壤温度和湿度与秸秆覆盖量呈二次函数关系, 0.6 kg/m^2 时温度最高, 0.4 kg/m^2 时湿度最低。降雨强度对覆盖效果具有显著影响, 大暴雨可缓冲温度波动, 减少水分蒸发, 同时增强土壤的保水能力, 从而提高水分利用效率。本研究可为农业生态管理提供一定的科学依据。

参考文献:

- [1] 李清藐, 李天阳, 何丙辉, 等. 不同农作措施下紫色土坡耕地氮磷流失特征 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(4): 46-54.
- [2] Peng Z K, Yang H W, Li Q, et al. Tillage practices affected yield and water use efficiency of maize (*Zea mays* L., longdan No. 8) by regulating soil moisture and temperature in semi-arid environment [J]. *Water*, 2023, 15(18): 3243.
- [3] 刘燕青, 王计磊, 李子忠. 秸秆覆盖对土壤水分和侵蚀的影响研究进展 [J]. 水土保持研究, 2021, 28(6): 429-436.
- [4] 蹇述莲, 李书鑫, 刘胜群, 等. 覆盖作物及其作用的研究进展 [J]. 作物学报, 2022, 48(1): 1-14.
- [5] 张晓雨, 张赛, 王龙昌, 等. 秸秆覆盖条件下小麦生长季根系呼吸对土壤呼吸作用的贡献 [J]. 环境科学学报, 2014, 34(11): 2846-2852.
- [6] Sun X X, Li S, Du H S. The influence of corn straw mulching on soil moisture, temperature and organic matter [J]. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2017, 11(6): 662-665.
- [7] Zhao X K, Song X Y, Wang D Y, et al. Optimizing straw mulching methods to control soil and water losses on loess sloped farmland [J]. *Agronomy*, 2024, 14(4): 696.
- [8] Yin M H, Li Y N, Xu Y B, et al. Effects of mulches on water use in a winter wheat/summer maize rotation system in loess plateau, China [J]. *Journal of Arid Land*, 2018, 10(2): 277-291.
- [9] 宋稳锋, 王志远, 吴心瑶, 等. 不同保水剂及覆盖材料对西南旱作农田土壤特性和油菜生长的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(3): 88-99.
- [10] Song X L, Sun R J, Chen W F, et al. Effects of surface straw mulching and buried straw layer on soil water content and salinity dynamics in saline soils [J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2020, 100(1): 58-68.
- [11] Liu S D, YiS J, Ma Y C. Effects of straw mulching on soil temperature and maize growth in northeast China [J]. *Tehnicki Vjesnik*, 2022, 29(6): 1805-1810.
- [12] Donjadee S, Tingsanchali T. Soil and water conservation on steep slopes by mulching using rice straw and vetiver grass clippings [J]. *Agriculture and Natural Resources*, 2016, 50(1): 75-79.
- [13] 高鹏, 穆兴民, 刘普灵, 等. 降雨强度对黄土区不同土地利用类型入渗影响的试验研究 [J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 1-5.
- [14] Pittelkow C M, Liang X Q, Linquist B A, et al. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture [J]. *Nature*, 2015, 517(7534): 365-368.
- [15] El-Beltagi H S, Basit A, Mohamed H I, et al. Mulching as a sustainable water and soil saving practice in agriculture; a review [J]. *Agronomy*, 2022, 12(8): 1881.
- [16] 孙进, 王义炳. 稻草覆盖对旱地小麦产量与土壤环境的影响 [J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 53-55.
- [17] 纪文宁, 程宏波, 李亚伟, 等. 覆盖方式对旱地马铃薯阶段耗水量特征和产量的影响 [J]. 水土保持学报, 2022, 36(3): 228-235.
- [18] 胥生荣, 张恩和, 马瑞丽, 等. 不同覆盖措施对枸杞根系生长和土壤环境的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(12): 1802-1810.
- [19] Wu Y, Huang F Y, Zhang C, et al. Effects of different mulching patterns on soil moisture, temperature and maize yield in a semi-arid region of the loess plateau, China [J]. *Arid Land Research and Management*, 2016, 30(4): 490-504.
- [20] 赵思明, 曹兵, 万仲武, 等. 园艺地布和秸秆覆盖对枣园土壤温湿度与枣树生长的影响 [J]. 核农学报, 2021, 35(5): 1188-1195.
- [21] 陈妙金, 汪小钦, 吴思颖. 基于随机森林算法的水土流失影响因子重要性分析 [J]. 自然灾害学报, 2019, 28(4): 209-219.

[22] Li R, Hou X Q, Jia Z K, et al. Effects on soil temperature, moisture and maize yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the loess plateau, China [J]. Agricultural Water Management, 2013, 116: 101-109.

[23] 于洋, 张常仁, 杨雅丽, 等. 长期免耕和秸秆覆盖量对黑土碳氮含量及碳氮循环相关酶活性的影响 [J]. 应用生态学报, 2024, 35(3): 695-704.

[24] Montenegro A A A, Abrantes J R C B, de Lima J L M P, et al. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall [J]. Catena, 2013, 109: 139-149.

[25] 张丽华, 徐晨, 于江, 等. 半湿润区秸秆还田对土壤水分、温度及玉米产量的影响 [J]. 水土保持学报, 2021, 35(4): 299-306.

[26] Zhao D M, Ma J H, Cui X Z, et al. Effects of partial straw mulching on potato production under different rainfall years in dry-farming region [J]. Water, 2023, 15(22): 3971.

[27] 史佳良, 王秀茹, 崔伟杰, 等. 滴灌下秸秆覆盖与灌水量对华北冬小麦土壤水分的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(4): 115-123.

[28] 王龙昌, 谢小玉, 张臻, 等. 论西南季节性干旱区节水型农作制度的构建 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010, 32(2): 1-6.

[29] 刘博, 韩庆功, 张杰琳, 等. 变化环境下黄河中游土壤湿度时空格局及其影响因素 [J]. 水土保持学报, 2025, 39(1): 73-83.

[30] 李瑞平, 罗洋, 隋鹏祥, 等. 玉米秸秆不同还田方式对黑土耕层温度影响的短期效应 [J]. 应用生态学报, 2023, 34(10): 2693-2702.

[31] 李英臣, 侯翠翠, 李勇, 等. 免耕和秸秆覆盖对农田土壤温室气体排放的影响 [J]. 生态环境学报, 2014, 23(6): 1076-1083.

[32] 张玉锴, 闫凯, 李博, 等. 中国土壤重构及其土水特性研究进展 [J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(3): 511-524.

[33] Matthews F, Panagos P, Verstraeten G. Simulating event-scale rainfall erosivity across European climatic regions [J]. Catena, 2022, 213: 106157.

[34] 王伟, 陈杨, 庄晓晖, 等. 极端降雨条件下秸秆覆盖坡面水流流速空间分布 [J]. 农业工程学报, 2022, 38(2): 149-156.

[35] 孙智妍, 周秋文, 罗雅雪, 等. 黄壤径流小区植被覆盖度对土壤湿度的影响 [J]. 水资源与水工程学报, 2019, 30(4): 39-46.

责任编辑 包颖

崔玉洁